

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
3. Februar 2005 (03.02.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2005/009912 A1(51) Internationale Patentklassifikation⁷: C03B 37/012

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/008032

(22) Internationales Anmeldedatum:
18. Juli 2004 (18.07.2004)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

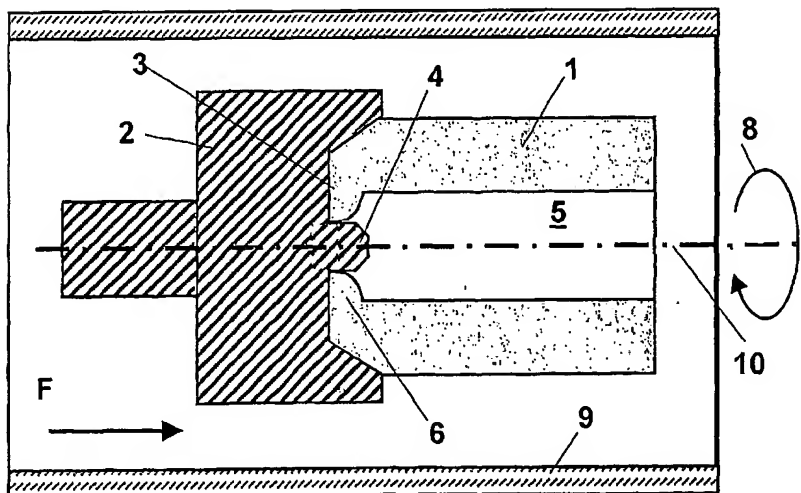
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
103 33 059.3 18. Juli 2003 (18.07.2003) DE(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): HERAEUS TENEVO AG [DE/DE]; Quarzstrasse 8,
63450 Hanau (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): GANZ, Oliver
[DE/DE]; Pfingsweidstrasse 1, 63486 Bruchköbel (DE).
SOWA, Rene [DE/DE]; Fischergasse 8, 06774 Pouch(DE). BAUER, Peter [DE/DE]; Seestrass 6, 63533
Mainhausen (DE). CIBIS, Norbert [DE/DE]; Mittel-
weg 6, 63796 Kahl am Main (DE). SATTMANN, Ralph
[DE/DE]; Corneliensstrasse 46, 63739 Aschaffenburg (DE).
VYDRA, Jan [DE/DE]; Bickenstrasse 1, 63456 Hanau
(DE). SCHMITT, Clemens [DE/DE]; Wingertsweg 3,
63825 Blankenbach (DE).(74) Anwalt: STAUDT, Armin; Lange Strasse 10, 63674 Al-
tenstadt (DE).(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,
PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR PRODUCTION OF AN OPTICAL COMPONENT MADE FROM QUARTZ GLASS AND HOLLOW
CYLINDER MADE FROM QUARTZ GLASS FOR CARRYING OUT SAID METHOD(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES OPTISCHEN BAUTEILS AUS QUARZGLAS SOWIE HOHL-
ZYLINDER AUS QUARZGLAS ZUR DURCHFÜHRUNG DES VERFAHRENS

(57) Abstract: The production of an optical component from quartz glass, by elongation of a coaxial arrangement of a core rod and a hollow cylinder of a given length, is known. The arrangement is thus introduced into a heating zone with a vertical orientation, such that the lower end begins to partly soften and the component is drawn downwards from the softened part. The hollow cylinder has an inner passage, provided with a restriction in the region of the lower end thereof, on which the core rod is supported. Several methods are disclosed for formation of the restriction in which the inner passage (55) is mechanically machined to a final dimension and, in one version of the method, the restriction in the inner passage (55) is generated by means of softening the lower end face of the hollow cylinder, swaged against a tool and thus folded inwards with formation of a peripheral bead ring.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Rechenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Bei einem bekannten Verfahren zur Herstellung eines optischen Bauteils aus Quarzglas durch Elongieren einer koaxialen Anordnung eines Kernstabs und eines Hohlzylinders einer vorgegebenen Länge wird die Anordnung in vertikaler Orientierung einer Heizzone zugeführt, darin mit ihrem unteren Ende beginnend zonenweise erweicht und aus dem erweichten Bereich das Bauteil nach unten abgezogen wird, wobei der Hohlzylinder eine Innenbohrung aufweist, die im Bereich ihres unteren Endes mit einer Verengung versehen wird, auf welcher der Kernstab aufliegt. Zur Bildung der Verengung werden mehrere Verfahrensweisen vorgeschlagen, bei denen die Innenbohrung (55) jeweils mechanisch auf Endmass bearbeitet wird, wobei bei einer der Verfahrensvarianten die Verengung der Innenbohrung (55) erzeugt wird, indem das untere, stirnseitige Ende des Hohlzylinders erweicht, gegen ein Werkzeug gestaucht, und dabei unter Bildung eines umlaufenden Wulstringes nach Innen eingestülpt wird.

Verfahren zur Herstellung eines optischen Bauteils aus Quarzglas sowie Hohlzylinder aus Quarzglas zur Durchführung des Verfahrens

- 5 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines optischen Bauteils aus Quarzglas durch Elongieren einer coaxialen Anordnung eines Kernstabs und eines Hohlzylinders einer vorgegebenen Länge, indem die Anordnung in vertikaler Orientierung einer Heizzone zugeführt, darin mit ihrem unteren Ende beginnend zonenweise erweicht und aus dem erweichten
- 10 Bereich das Bauteil nach unten abgezogen wird, wobei der Hohlzylinder eine Innenbohrung aufweist, die im Bereich ihres unteren Endes mit einer Verengung versehen wird, auf welcher der Kernstab aufliegt.

- Weiterhin betrifft die Erfindung einen Hohlzylinder aus Quarzglas zur Durchführung des Verfahrens, mit einer Innenbohrung, die im Bereich eines
- 15 ihrer Enden mit einer Verengung versehen ist.

- Durch Kollabieren und Elongieren einer coaxialen Anordnung von Kernstab und mindestens einem den Kernstab umhüllenden Hohlzylinder werden einfache Vollzylinder oder Zwischenprodukte (Vorformen) für optische Fasern hergestellt. Es ist auch bekannt, einen Hohlzylinder auf einen Kernstab
- 20 während des Faserziehens aufzukollabieren, wobei das letztgenannte Verfahren als „ODD-Verfahren“ (Overclad-During-Drawing) bezeichnet wird. Alle Verfahrensvarianten erfordern eine exakt coaxiale Führung oder Fixierung des Kernstabs im Hohlzylinder.

- Um dies zu gewährleisten und darüber hinaus ein beschädigungsfreies
- 25 Einführen des Kernstabes in ein Mantelrohr zu gewährleisten wird in der US 4,812,154 A1 ein Verfahren zur Herstellung einer Vorform vorgeschlagen, bei dem im unteren Bereich des Mantelrohres eine Einschnürung erzeugt wird mit einem Innendurchmesser, der kleiner ist als der Außendurchmesser des Kernstabs. Das Mantelrohr wird vertikal ausgerichtet und von der unteren Seite
- 30 wird ein Stickstoffstrom durch das Mantelrohr geleitet. Gleichzeitig wird der Kernstab mit seinem unteren Ende beginnend gegen den Gasstrom in das

Mantelrohr eingeführt, wobei durch den Gasstrom eine Zentrierung des Kernstabs im Mantelrohr erreicht wird, die einen Kontakt mit der Innenwandung verhindert. Sobald das untere, sich konisch nach Außen verjüngende Ende des Kernstabs auf der Einschnürung des Mantelrohres aufsetzt, werden Kernstab
5 und Mantelrohr unter Bildung einer Vorform miteinander verschmolzen.

Bei einem anderen Verfahren gemäß der EP 1 129 999 A2 wird vorgeschlagen, einen Kernstab mit einem inneren Mantelglasrohr und mit einem äußeren Mantelglasrohr gleichzeitig zu überfangen. Zur Fixierung des Kernstabes coaxial innerhalb des inneren und des äußeren Mantelglasrohres wird das
10 äußere Mantelglasrohr im Bereich des unteren Endes durch Erhitzen mit einer Einschnürung versehen. Bei vertikal orientiertem äußerem Mantelrohr wird von oben ein Haltering in die Innenbohrung des Mantelrohres eingeführt, der einen Außendurchmesser hat, der geringfügig größer ist als der Durchmesser der Einschnürung, so dass sich der Haltering von oben auf den Bereich der
15 Einschnürung auflegt. Bei exakt waagrecht orientiert ergibt sich durch die Mittelbohrung des Halterings ein Anschlag für den mit einem konischen unteren Ende versehenen Kernstab, während das erste innere Mantelrohr auf dem Haltering aufliegt. Anschließend werden die Mantelrohre und der Kernstab miteinander verschmolzen, wobei in der Innenbohrung des äußeren
20 Mantelrohres ein Vakuum erzeugt und aufrechterhalten wird.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein weiteres Verfahren zur Herstellung hochwertiger optischer Bauteile durch Elongieren einer coaxialen Anordnung von Kernstab und Hohlzylinder anzugeben, bei welchem der Hohlzylinder zwecks Fixierung des Kernstabs mit einer Verengung versehen
25 wird, welche kostengünstig erzeugt werden kann, und welche mit möglichst geringem Aufwand eine reproduzierbare Fixierung des Kernstabs in dem Hohlzylinder erlaubt.

Weiterhin liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, einen Hohlzylinder bereitzustellen, der eine definierte und mit geringem Aufwand herstellbare
30 Verengung der Innenbohrung aufweist.

Hinsichtlich des Verfahrens wird diese Aufgabe ausgehend von dem eingangs genannten Verfahren erfindungsgemäß einerseits dadurch gelöst, dass die

Innenbohrung mechanisch auf Endmaß bearbeitet wird, und dass die Verengung der Innenbohrung erzeugt wird, indem das untere, stirnseitige Ende des Hohlzylinders erweicht, gegen ein Werkzeug gestaucht, und dabei unter Bildung eines umlaufenden Wulstringes nach Innen eingestülpt wird.

- 5 Unter einem mechanisch auf Endmaß gearbeiteten Hohlzylinder im Sinne dieser Erfindung ist auch ein Zylinder zu verstehen, dessen Innenoberfläche mechanisch auf Endmaß bearbeitet wurde und der anschließend durch Ätzen gereinigt wird. Gleichmäßige Ätzprozesse bewirken keine wesentliche Änderung der geometrischen Endform des Hohlzylinders (wie beispielsweise
- 10 eine Biegung oder eine Ovalität im Querschnitt).

- Erfindungsgemäß wird die Verengung der Innenbohrung durch plastische Verformung des unteren Endes des Hohlzylinders erzeugt. Hierzu wird das untere, stirnseitige Ende des Hohlzylinders erweicht und unter Bildung eines umlaufenden Wulstringes mittels eines Werkzeuges gestaucht und dabei nach
- 15 innen eingestülpt. Die Verengung stellt sich je nach der Viskosität des Quarzglas, der Form des Werkzeuges und dem Anpressdruck ein. Durch Einhalten dieser Parameter kann die Verengung der Innenbohrung ohne großen Aufwand reproduzierbar erzeugt werden.

- Im Hinblick auf eine reproduzierbare Einstellung der Form und Größe der
- 20 Verengung hat es sich besonders bewährt, wenn das Werkzeug ein in die Innenbohrung hinein ragendes Formteil aufweist, wobei das eingestülpte Quarzglas an dem Formteil unter Bildung des umlaufenden Wulstringes zum Anliegen kommt.

- Das nach Innen gestülpte, erweichte Quarzglas schmiegt sich an das Formteil
- 25 an, so dass die Außenkontur des in die Innenbohrung hineinragenden Formteils die Innenkontur der resultierenden Verengung bestimmt.

- Im einfachsten Fall wird ein Werkzeug eingesetzt, bei welchem das Formteil eine in die Innenbohrung des Hohlzylinders hinein ragende Kegelfläche aufweist. Hierbei wird der Innendurchmesser der Verengung durch die
- 30 Geometrie der Kegelfläche, die Eindringtiefe derselben in die Innenbohrung und die Anlage des erweichten Quarzglas an der Kegelfläche bestimmt. Die Kegelfläche ist beispielsweise als Spitze oder als Kegelstumpf ausgebildet.

Alternativ dazu hat es sich bewährt, ein Werkzeug einzusetzen, bei welchem das Formteil als ein in die Innenbohrung des Hohlzylinders hinein ragender Zapfen ausgebildet ist, der einen Außendurchmesser aufweist, der dem Innendurchmesser des sich bildenden Wulstringes entspricht.

- 5 In diesem Fall ergibt sich der Innendurchmesser der Verengung durch den Außendurchmesser eines zylinderförmigen Zapfens, und zwar unabhängig von dessen Eindringtiefe, so dass im Vergleich zu der vorher erläuterten Verfahrensvariante ein geringerer Aufwand zur Erzielung einer hohen Reproduzierbarkeit erforderlich ist.

- 10 Eine weitere Verbesserung hinsichtlich der Reproduzierbarkeit wird erreicht, wenn das Werkzeug eine Ringnut aufweist, deren Außendurchmesser dem Außendurchmesser des Hohlzylinder und deren Innendurchmesser dem Innendurchmesser des Wulstringes entspricht.

- 15 Die Weite der Ringnut des Werkzeugs ist größer als die Wandstärke des endseitig einzustülpenden Hohlzylinders. Die äußere Begrenzung der Ringnut entspricht etwa dem Außendurchmesser des Hohlzylinders. Ihre innere Begrenzung ergibt sich durch den Außenumfang des in die Innenbohrung hineinragenden Zapfens. Die Ringnut bildet eine einseitig offene Form für das beim Verformungsprozess zur Erzeugung der Verengung sich plastisch
20 verformende Quarzglas. Auf einfache Art und Weise wird somit ein definiertes Ergebnis dieses Verformungsvorganges gewährleistet.

- Hohlzylinder und Werkzeug können mittels eines Propan-, Knallgas- oder Plasmabrenners auf eine Temperatur erhitzt werden, bei welcher das Quarzglas erweicht. Die Beheizung der genannten Quarzglasteile mittels eines
25 Brenner hat den Vorteil, dass der Energieeintrag rasch und flexibel verändert und auf einen engen Bereich begrenzt werden kann.

Vorteilhafterweise werden der Hohlzylinder und das Werkzeug jedoch in einem Ofen auf eine Temperatur aufgeheizt, bei welcher Quarzglas erweicht.

- 30 In einem Ofen ist eine definierte Temperatur und eine homogene Temperaturverteilung vergleichsweise einfach einzustellen. Daher verbessert

das Erhitzen des Hohlzylinders und des Werkzeuges in einem Ofen die Reproduzierbarkeit des Verfahrens zur Herstellung der Verengung.

- Es hat sich bewährt, ein Werkzeug einzusetzen, das aus Graphit oder aus carbonfaserverstärktem Kohlenstoff besteht. Diese Werkstoffe zeichnen sich durch hohe Temperaturbeständigkeit und durch eine geringe Benetzung im Kontakt mit Quarzglas aus, so dass die daraus bestehenden Werkzeuge nach dem Verformungsprozess von dem Quarzglas-Hohlzylinder leicht getrennt werden können. Eine weitere Verbesserung ergibt sich dadurch, dass das Werkzeug und das erweichte stirnseitige Ende des Hohlzylinders um die Hohlzylinder-Längsachse gegeneinander rotieren.

Dadurch wird eine radiale homogenere Temperaturverteilung erreicht, welche die Ausbildung einer radialsymmetrischen Verengung erleichtert, die sich wiederum günstig auf die Reproduzierbarkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens auswirkt.

- Weiterhin hat es sich bewährt, wenn an dem erweichten stirnseitigen Ende des Hohlzylinders mittels des Werkzeugs ein sich nach Außen hin verjüngender Außenkonus geformt wird.

- Das untere Ende des so vorgeformten Hohlzylinders weist in erster Näherung die Form einer Ziehwiebel auf, und erleichtert den Anziehprozess, indem der Austritt des so geformten Endes aus der ringförmigen Heizzone und die Ausbildung eines Anziehstücks vereinfacht werden.

- Insbesondere für Anwendungen, bei denen es auf hohe Reinheit ankommt, wird vorzugsweise ein Werkzeug in Form eines Quarzglasrohres eingesetzt, das mit dem stirnseitigen Ende des Hohlzylinder in Form eines Stoßes verschmolzen wird.

Durch den Anpressdruck beim Verschmelzen von Hohlzylinder und Quarzglasrohr wird der an der Innenwandung des Hohlzylinders umlaufende Wulstring erzeugt.

- Weiterhin wird die oben angegebene Aufgabe ausgehend von dem eingangs genannten Verfahren erfindungsgemäß auch dadurch gelöst, dass die Innenbohrung mechanisch auf Endmaß bearbeitet wird, und dass die Verengung der Innenbohrung erzeugt wird, indem bei der mechanischen
- 5 Bearbeitung im Bereich des unteren Endes ein um die Längsachse der Innenbohrung umlaufender und nach Innen ragender Kragen erzeugt wird. Bei dieser Verfahrensvariante wird die Innenbohrung des Hohlzylinders mechanisch auf Endmaß bearbeitet. Durch die mechanische Bearbeitung, die insbesondere Bohren und Schleifen - und optional Honen - umfasst, kann unter
- 10 Einsatz bekannter Schleifverfahren und dafür geeigneter handelsüblicher Vorrichtungen ein Quarzglas-Rohling mit einem Außendurchmesser von mehr als 100 mm und einer Länge von mehr als 2 m vollständig in einen geraden Hohlzylinder mit genauem kreisförmigem Querschnitt und einer geringen Maßabweichung, im Bereich von 1/10 mm hergestellt werden.
- 15 Auch bei dieser Verfahrensvariante wird die Innenbohrung des Hohlzylinders mechanisch auf Endmaß bearbeitet. Hinsichtlich ihrer Definition, ihrer Durchführung und der sich infolge der mechanischen Bearbeitung ergebenden Vorteile wird auf die obigen Erläuterungen verwiesen, welche für diese Verfahrensvariante gleichermaßen zutreffen.
- 20 Erfindungsgemäß wird bei der mechanischen Bearbeitung im Bereich des unteren Endes der Hohlzylinder-Innenbohrung ein nach Innen ragender und um die Innenbohrung umlaufender Kragen erzeugt. Dies geschieht im einfachsten Fall dadurch, dass die mechanische Bearbeitung vor dem Ende der Innenbohrung stoppt, so dass ein Bereich der ursprünglichen Innenbohrung in
- 25 Form einer Stufe stehen bleibt. Der Kragen ist in der Regel in Form einer umlaufenden Rechteckstufe ausgebildet. Durch mechanische Bearbeitung der Innenwandung des Kragens kann ein Kragen mit vorgegebener Höhe und Form erzeugt werden.
- Diese Verfahrensvariante zeichnet sich einerseits dadurch aus, dass die
- 30 Verengung in einem Arbeitsgang mit der mechanischen Bearbeitung des Hohlzylinders erzeugt wird und somit ein zeit- und kostenaufwändiger Heißverformungsschritt hierfür nicht erforderlich ist. Trotz des geringen Aufwandes ermöglicht die mechanische Bearbeitung eine hohe Maßhaltigkeit

des Kragens und damit eine definierte Lagerung des Kernstabs auf dem Kragen, wie dies zur Erzeugung qualitativ hochwertiger optischer Bauteile aus Quarzglas notwendig ist.

- 5 Dabei hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn der umlaufende Kragen mit einer maximalen Höhe erzeugt wird, die zwischen dem 0,05-fachen bis 0,3-fachen des Innendurchmessers der Innenbohrung, vorzugsweise zwischen dem 0,1-fachen bis 0,2-fachen des Innendurchmessers der Innenbohrung, liegt.

- 10 Ein Kragen mit einer maximalen Höhe oberhalb der genannten Untergrenze verhindert ein Abrutschen oder Verkanten des Kernstabs, wobei von einem Kernstab ausgegangen wird, dessen Außendurchmesser nicht weniger als das 0,9-fache des Hohlzylinder-Innendurchmessers beträgt. Andererseits ist es zur Erzielung einer hohen Reinheit erwünscht, den Ringspalt zwischen Kernstab und Hohlzylinder bis unmittelbar vor dem Kollabieren mit einem Gas spülen zu
15 können. Diese Gasspülung wird durch einen möglichst großen freien Strömungsquerschnitt erleichtert. Die maximale Höhe des Kragens entspricht dem Unterschied zwischen dem Radius der Innenbohrung außerhalb des Kragens und dem minimalen Innenradius der Innenbohrung. Bei einem Kragen in Stufenform entspricht die maximale Höhe der Stufenhöhe.

- 20 Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, wenn der umlaufende Kragen mit einer Ausdehnung – in Richtung der Längsachse gesehen – erzeugt wird, die im Bereich zwischen 15 und 40 mm, vorzugsweise unterhalb von 30 mm, liegt.

- 25 Das mit dem Kragen versehene Ende des Hohlzylinders wird nach der Herstellung des Quarzglas-Bauteils verworfen. Der angegebene Bereich für die Ausdehnung des Kragens in Richtung der Hohlzylinder-Längsachse stellt einen geeigneten Kompromiss dar zwischen einer ausreichenden Tragfähigkeit des Kragens im Hinblick auf das Gewicht des darauf ruhenden Kernstabs einerseits und einem möglichst geringen Materialverlust andererseits.

- 30 Vorteilhafterweise wird ein Kragen mit einem sich zum unteren Ende hin verjüngenden Innenkonus erzeugt.

Der Innenkonus trägt zur Zentrierung des Kernstabs in der Innenbohrung bei und stabilisiert so den Ziehprozess.

- Besonders bevorzugt wird eine Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei der ein Hohlzylinder eingesetzt wird, dessen Innenbohrung vor der
- 5 mechanischen Endmaß-Bearbeitung im Bereich seines unteren Endes eine stufenförmige Verengung aufweist.

- Die stufenförmige Verengung wird hierbei ganz oder teilweise gebildet, indem der Hohlzylinder durch Abscheiden von SiO_2 -Partikeln auf einem länglichen, um seine Längsachse rotierenden Träger unter Bildung eines porösen,
- 10 hohlzylindrischen Rohlings, und anschließendem Verglasen des Rohlings hergestellt wird, wobei die stufenförmige Verengung durch Formung der Innenbohrung beim Abscheiden der SiO_2 -Partikel erzeugt wird. Hierzu bieten sich zwei Möglichkeiten an. Bei der einen weist der Träger im Bereich des Rohlingendes eine korrespondierende stufenförmige Verjüngung auf. Bei der
- 15 anderen ist auf den Träger eine Manschette aus Quarzglas aufgeschoben, die beim Abscheiden in den Endbereich des sich bildenden Rohlings eingebettet wird, und die nach dem Verglasen einen integralen Bestandteil des Hohlzylinders bildet und die die stufenförmige Verengung des Hohlzylinder bewirkt.

- 20 Die stufenförmige Verengung bildet den nach Innen ragenden Kragen oder einen Teil davon. Die Vorab-Ausbildung der stufenförmigen Verengung des Hohlzylinders während seines Fertigungsprozesses über ein sogenanntes „Sootverfahren“ hat den Vorteil, dass für die Ausbildung einer Mindesthöhe des Kragens weniger „Gutmaterial“ über die Länge der Innenbohrung abgetragen
- 25 werden muss.

Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass die stufenförmige Verengung wenigstens zum Teil bereits im porösen Rohling (Sootkörper) vorhanden ist, so dass dieser für seine Weiterbehandlung zum Reinigen, Dotieren oder Verglasen an dieser Stufe gehalten werden kann.

- 30 Die oben angegebene Aufgabe wird ausgehend von dem eingangs genannten Verfahren erfindungsgemäß auch dadurch gelöst, dass ein Rohzylinder bereitgestellt wird, dessen Länge ein Mehrfaches der Länge des Hohlzylinders

entspricht, und dessen Bohrung mechanisch auf Endmaß bearbeitet wird, und dass die Rohzylinder-Bohrung in einer Kollabierzone, die zum stirnseitigen Ende des Rohzylinders einen Abstand aufweist, der mindestens der Länge des Hohlzylinders entspricht, erhitzt und dabei teilweise kollabiert wird, und dass
5 anschließend der Rohzylinder im Bereich der Kollabierzone getrennt wird.

Bei dieser Verfahrensvariante wird die Innenbohrung des Rohzylinders mechanisch auf Endmaß bearbeitet. Hinsichtlich ihrer Definition, ihrer Durchführung und der sich infolge der mechanischen Bearbeitung ergebenden Vorteile wird auf die obigen Erläuterungen zur mechanischen Bearbeitung des
10 Hohlzylinders verwiesen, welche für diese Verfahrensvariante gleichermaßen zutreffen.

Erfindungsgemäß wird die Verengung der Innenbohrung des Hohlzylinder dadurch erzeugt, dass in einem Rohzylinder, der ein Mehrfaches der Länge des Hohlzylinders aufweist, eine Zone plastischer Verformung durch teilweises
15 Kollabieren der Innenbohrung erzeugt wird. Diese Zone plastischer Verformung ist an einer Stelle vorgesehen, die vom stirnseitigen Ende des Rohzylinders einen Abstand hat, der mindestens so groß ist wie die vorgegebene Länge des Hohlzylinders. Im einfachsten Fall ist die Kollabierzone in der Mitte eines Rohzylinders mit zweifacher Länge des Hohlzylinders vorgesehen. Bei einem
20 Rohzylinder mit der vierfachen Länge eines Hohlzylinder sind Verengungen im unteren Drittel und im oberen Drittel vorzusehen, damit daraus vier Hohlzylinder erhalten werden können. Nach dem Erzeugen der Verengung durch Kollabieren wird der Rohzylinder im Bereich seiner Kollabierzone oder seiner Kollabierzonen getrennt, so dass die so erhaltenen Zylinderstücke beiderseits
25 der Trennstelle eine Verengung aufweisen und als Hohlzylinder im Sinne der vorliegenden Erfindung eingesetzt werden können.

Diese Verfahrensvariante hat mehrere Vorteile. Zum einen werden durch einen Arbeitsgang (Kollabieren und Trennen) zwei Hohlzylinder mit einer geeigneten Verengung der Innenbohrung erhalten. Zum anderen ist das mit der Verengung
30 versehene, untere Ende der so erzeugten Hohlzylinder infolge des Kollabierschrittes zwiebelförmig ausgebildet, was den Anziehvorgang beim bestimmungsgemäßen Einsatz des Hohlzylinders erleichtert. Weiterhin wird die

Verengung durch Kollabieren erzeugt, so dass Verunreinigungen durch ein Werkzeug vermieden werden.

In einer bevorzugten Verfahrensweise besteht der Rohzylinder aus mindestens zwei stirnseitig miteinander verbundenen Ausgangszyhlindern, die im Bereich
5 einer Ansetzzone in Form eines Stoßes zusammengefügt werden, wobei das Erhitzen und teilweise Kollabieren des Rohzylinders im Bereich der Ansetzzone erfolgt.

Durch das Erhitzen und teilweise Kollabieren des Rohzylinders im Bereich der Ansetzzone wird eine Verengung der Innenbohrung erzeugt, die nach dem
10 Trennvorgang jeweils einem stirnseitigen Ende eine Hohlzylinder zu liegen kommt.

Vorzugsweise weist dabei mindestens einer der Ausgangszyhlinder im Bereich der Ansetzzone eine verringerte Wandstärke auf.

Infolge der verringerten Wandstärke bei mindestens einem der
15 Ausgangszyhlinder wird zum einen die Lage der Kollabierzone exakt vorgegeben, und zum anderen wird die Ausbildung des unteren Endes mit Zwiebelform verstärkt.

Insbesondere im Hinblick hierauf ergibt sich eine weitere Verbesserung des erfindungsgemäßen Verfahrens, wenn der Bereich verringerter Wandstärke als
20 konische Verjüngung ausgebildet ist.

Die Verengung der Innenbohrung des Rohzylinders wird vorzugsweise dadurch erzeugt, dass der Rohzylinder in vertikaler Ausrichtung hängend in einem ringförmigen Heizelement im Bereich seiner Kollabierzone erweicht, und dabei unter Einfluss seines Eigengewichtes elongiert wird.

25 Diese Verfahrensvariante ermöglicht eine fortlaufende Erzeugung von Verengungen in einem entsprechend langen Rohzylinder.

Alternativ oder ergänzend hierzu wird ein Rohzylinder eingesetzt, der einen Zylinderaußenmantel aufweist, der vor dem Erhitzen und Kollabieren im Bereich der Kollabierzone mit einer radial umlaufenden Einkerbung versehen
30 wird.

Die Vorgabe durch die radial umlaufende Einkerbung bewirkt eine exakte Lokalisierung der Verengung und trägt so zu einer besseren Reproduzierbarkeit bei.

- Es hat sich als günstig erwiesen, beim Kollabieren in der Bohrung einen
- 5 Unterdruck gegenüber dem Außen an der Zylindermantelfläche anliegenden Druck zu erzeugen.

- Der Unterdruck in der Bohrung des Rohzylinders beschleunigt den Kollabievorgang und er erzeugt zusätzliche, nach Innen wirkenden Kräfte beim Kollabieren, so dass zufällige Schwankungen anderer Verfahrensparameter,
- 10 welche zu einer undefinierten Form und Lage der Verengung führen können, kompensiert werden. Insoweit trägt auch der Unterdruck in der Bohrung des Rohzylinders zur besseren Reproduzierbarkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens bei.

- Bei allen vorstehend erläuterten Varianten des erfindungsgemäßen Verfahrens
- 15 erfolgt die Herstellung des Quarzglas-Bauteils dadurch, dass ein Kernstab in die Innenbohrung des Hohlzylinders eingebracht wird und dabei in vertikaler Orientierung auf der in der Innenbohrung erzeugten Verengung aufliegt. Die koaxiale Anordnung von Kernstab und Hohlzylinder wird zonenweise erweicht und dabei zu einem Vollstab, einer Vorform oder zu einer Faser elongiert.

- 20 Bei dem Kernstab handelt es sich um einen Quarzglasstab mit radial homogener oder mit radial inhomogener Brechzahlverteilung. In der Regel besteht der Kernstab aus einem Kernglas mit höherem Brechungsindex, das von einem Mantelglas mit geringerem Brechungsindex umgeben ist. Der Kernstab ist einteilig ausgebildet, oder er ist aus mehreren kurzen
- 25 Kernstabstücken zusammengesetzt, die in der Innenbohrung des Hohlzylinder übereinander angeordnet sind. Das Mantelglas ist integraler Bestandteil des Kernstabes, oder es wird ganz oder teilweise in Form eines oder mehrere Mantelglasrohre bereitgestellt, die einen Quarzglasstab umgeben. Im letztgenannten Fall besteht der Kernstab aus einer koaxialen Anordnung eines
- 30 Quarzglasstabes und einem oder mehreren Mantelglasrohren; unter dem Außendurchmesser des Kernstabs ist in dem Fall der Außendurchmesser des äußeren Mantelglasrohres zu verstehen.

Der Kernstab wird innerhalb der Innenbohrung des Hohlzylinders geführt und mittels der darin ausgebildeten Verengung axial fixiert. Innerhalb der Innenbohrung befindet sich entweder allein der Kernstab oder ein Kernstab, umgeben von einem oder mehreren Mantelglasrohren, die gegebenenfalls auch
5 mittels der Verengung der Innenbohrung axial fixiert werden sein können.

Bei dem optischen Bauteil handelt es sich um einen Vollstab, eine Vorform für optische Fasern, oder um eine optische Faser.

Die mechanische Bearbeitung der Innenbohrung erfolgt in der Regel vor dem Verfahrensschritt, bei dem die Verengung der Innenbohrung erzeugt wird.

10 Hinsichtlich des Hohlzylinders aus Quarzglas zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die oben angegebene Aufgabe ausgehend von dem eingangs genannten Hohlzylinder erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Innenbohrung eine mechanisch auf Endmaß
15 mechanischen Bearbeitung erzeugter, in die Innenbohrung hinein ragender Kragen ausgebildet ist.

Der erfindungsgemäße Hohlzylinder zeichnet sich zum einen dadurch aus, dass er mechanisch auf Endmaß bearbeitet ist. Die mechanische Bearbeitung, die insbesondere ein Bohren und Schleifen - und optional Honen - umfasst,
20 ermöglicht eine hohe Maßhaltigkeit des Hohlzylinders über dessen gesamte Länge. Mittels handelsüblicher Vorrichtungen kann ein Quarzglas-Hohlzylinder mit einem Außendurchmesser von mehr als 100 mm und einer Länge von mehr als 2 m mit exaktem kreisförmigem Querschnitt hergestellt werden, wobei eine Maßabweichung im Bereich von weniger als 1/10 mm möglich ist.

25 Unter einem mechanisch auf Endmaß gearbeiteten Hohlzylinder im Sinne der Erfindung ist auch ein Zylinder zu verstehen, dessen Innenoberfläche mechanisch auf Endmaß bearbeitet und anschließend durch Ätzen gereinigt wurde. Gleichmäßige Ätzprozesse beeinträchtigen die geometrische Endform

des Hohlzylinders nicht, insbesondere erzeugen sie keine Biegung oder Ovalität im Querschnitt.

Der mechanisch auf Endmaß gearbeitete Hohlzylinder zeichnet sich erfindungsgemäß durch einen nach innen ragenden, umlaufenden Kragen aus.

- 5 Der Kragen ist an einem Ende des Hohlzylinders ausgebildet und er entsteht dadurch, dass die mechanische Bearbeitung vor diesem Ende des Hohlzylinders stoppt. Im einfachsten Fall entspricht der Innendurchmesser des Kragens dem ursprünglichen Innendurchmesser des Quarzglasrohlings vor der mechanischen Bearbeitung der Innenbohrung, und die nach innen weisende
- 10 Begrenzungsfläche des Kragens ergibt sich durch die Kontur des Bearbeitungswerkzeuges. Es ist aber auch möglich, den Kragen zusätzlich mechanisch zu bearbeiten, beispielsweise zur Aufweitung des Innendurchmessers, zur Abrundung, zur Entgratung von Kanten, usw., so dass ein Kragen mit vorgegebener Höhe und Form erhalten wird.

- 15 Der Kragen dient als Verengung der Hohlzylinder-Innenbohrung beim Einsatz des Hohlzylinders zur Herstellung eines optischen Bauteils, wobei in der Innenbohrung des Hohlzylinders ein Kernstab eingesetzt ist, der mit seinem unteren Ende auf dem Kragen aufliegt.

- Der erfindungsgemäße Hohlzylinder zeichnet sich dadurch aus, dass die
- 20 Verengung in einem Arbeitsgang mit der mechanischen Bearbeitung erzeugt wird, so dass ein zeit- und kostenaufwändiger Heißverformungsschritt nicht erforderlich ist, und zudem eine hohe Maßhaltigkeit des Kragens und damit eine definierte Lagerung des Kernstabes erzielt wird.

- Dabei hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn der umlaufende Kragen eine
- 25 maximale Höhe aufweist, die zwischen dem 0,05-fachen bis 0,3-fachen des Innendurchmessers der Innenbohrung, vorzugsweise zwischen dem 0,1-fachen bis 0,2-fachen des Innendurchmessers der Innenbohrung, liegt.

- Ein Kragen mit einer Höhe oberhalb der genannten Untergrenze verhindert ein Abrutschen oder Verkanten des Kernstabs, wobei von einem Kernstab
- 30 ausgegangen wird, dessen Außendurchmesser nicht weniger als das 0,9-fache des Hohlzylinder-Innendurchmessers beträgt. Andererseits ist es zur Erzielung einer hohen Reinheit erwünscht, den Ringspalt zwischen Kernstab und

Hohlzylinder bis unmittelbar vor dem Kollabieren mit einem Gas spülen zu können. Diese Gasspülung wird durch einen möglichst großen freien Strömungsquerschnitt erleichtert. Die maximale Höhe des Kragens entspricht dem Unterschied zwischen dem Radius der Innenbohrung außerhalb des

5 Kragens und dem minimalen Innenradius der Innenbohrung. Bei einem Kragen in Stufenform entspricht die maximale Höhe der Stufenhöhe

Es hat sich als außerdem als günstig erwiesen, wenn der umlaufende Kragen eine Ausdehnung – in Richtung der Längsachse gesehen – aufweist, die im Bereich zwischen 15 und 40 mm, vorzugsweise unterhalb von 30 mm, liegt.

10 Das mit dem Kragen versehene Ende des Hohlzylinders wird nach der Herstellung des Quarzglas-Bauteils verworfen. Der angegebene Bereich für die Ausdehnung des Kragens in Richtung der Hohlzylinder-Längsachse stellt einen geeigneten Kompromiss dar zwischen einer ausreichenden Tragfähigkeit des Kragens im Hinblick auf das Gewicht des darauf ruhenden Kernstabs einerseits

15 und einem möglichst geringen Materialverlust andererseits.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Hohlzylinders ist das mit der Verengung versehene Ende des Hohlzylinders als Außenkonus ausgebildet.

Das untere Ende des so vorgeformten Hohlzylinders weist in erster Näherung

20 die Form einer Ziehwiebel auf, und erleichtert den Anziehprozess, indem der Austritt des so geformten Endes aus der ringförmigen Heizzone und die Ausbildung eines Anziehstücks vereinfacht werden.

Vorteilhafterweise weist der Kragen einen sich zum Ende der Innenbohrung hin verjüngenden Innenkonus auf.

25 Der Innenkonus, der auf einfache Art und Weise mittels eines konischen Bearbeitungswerkzeuges erzeugt werden kann, trägt zur Zentrierung des Kernstabs in der Innenbohrung bei und stabilisiert so den Ziehprozess.

Nachfolgend wird das erfindungsgemäße Verfahren anhand von Ausführungsbeispielen und einer Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung

30 zeigen in schematischer Darstellung im einzelnen

- Figur 1:** einen Verfahrensschritt zur Erzeugung einer Verengung am Ende eines Quarzglas-Hohlzylinder durch plastische Verformung unter Einsatz eines Graphit-Werkzeugs in einer ersten Verfahrensvariante,
- 5 **Figur 2:** einen Verfahrensschritt zur Erzeugung einer Verengung am Ende eines Quarzglas-Hohlzylinder durch plastische Verformung unter Einsatz eines Graphit-Werkzeugs in einer zweiten Verfahrensvariante,
- Figur 3:** einen Verfahrensschritt zur Erzeugung einer Verengung am Ende eines Quarzglas-Hohlzylinder durch plastische Verformung unter Einsatz eines Quarzglas-Werkzeugs,
- 10 **Figur 4:** einen Verfahrensschritt zur Erzeugung einer Verengung durch Zusammenfügen der Stirnseiten zweier Hohlzylinder unter Verformung,
- Figur 5:** einen Verfahrensschritt zur Erzeugung einer Verengung in der Mitte eines Quarzglas-Rohzylinders durch Kollabieren der Innenbohrung unter Wirkung des Eigengewichts, und
- 15 **Figur 6:** einen Ausschnitt eines erfindungsgemäßen Hohlzylinders mit mechanisch bearbeiteter Innenbohrung in einem Längsschnitt.

Die im Folgenden näher beschriebenen Hohlzylinder werden für die Herstellung von optischen Fasern eingesetzt, die jeweils einen Kernbereich aufweisen, der von einer inneren Mantelglasschicht und einer äußeren Mantelglasschicht umgeben ist. Der Kernbereich besteht aus Quarzglas, das homogen mit 5 Gew.-% Germaniumdioxid dotiert ist. Die beiden Mantelglasschichten bestehen aus undotiertem Quarzglas, wobei das Quarzglas für die äußere der Mantelglasschichten von dem jeweiligen Hohlzylinder bereitgestellt wird.

20

25 Es wird zunächst ein sogenannter Kernstab nach dem OVD-Verfahren hergestellt. Hierzu werden auf einem um seine Längsachse rotierenden Träger durch Hin- und Herbewegung eines Abscheidebrenners schichtweise Sootpartikel abgeschieden, wobei dem Abscheidebrenner SiCl_4 und GeCl_4 zugeführt und in einer Brennerflamme in Gegenwart von Sauerstoff zu SiO_2 und GeO_2 hydrolysiert werden. Das Verhältnis an SiCl_4 und GeCl_4 wird bei der

30

Abscheidung der inneren Schichten so eingestellt, dass sich über diesem Teil der Wandstärke des Sootrohres eine vorgegebene homogene GeO_2 -Konzentration von 5 mol-% ergibt. Sobald die Sootschichten abgeschieden sind, die den Kernbereich des Kernstabs bilden, wird die Zufuhr von GeCl_4 zum
5 Abscheidebrenner gestoppt und es wird eine innere Mantelglasschicht aus undotiertem SiO_2 abgeschieden.

Nach Beendigung des Abscheideverfahrens und Entfernen des Trägers wird ein Sootrohr erhalten, das zum Entfernen der herstellungsbedingt
eingebrauchten Hydroxylgruppen einer Dehydratationsbehandlung unterworfen
10 wird. Hierzu wird das Sootrohr in vertikaler Ausrichtung in einen Dehydratationsofen eingebracht und zunächst bei einer Temperatur im Bereich von 800 °C bis etwa 1000 °C in einer chlorhaltigen Atmosphäre behandelt. Die Behandlungsdauer beträgt etwa acht Stunden. Dadurch wird eine
Hydroxylgruppenkonzentration von weniger als 100 Gew.-ppb erhalten. Das so
15 behandelte Sootrohr wird in einem Verglasungsofen bei einer Temperatur im Bereich um 1350 °C verglast und dabei wird die Innenbohrung kollabiert, so dass ein Kernstab mit einem Außendurchmesser von 30 mm und dem gewünschten Brechzahlprofil erhalten wird. Das Gewicht des Kernstabs beträgt – je nach Länge – bis zu 10 kg. In der herzustellenden optischen Faser mit
20 einem Außendurchmesser von 125 µm bildet der Kernstab einen Kernbereich mit einem Durchmesser von ca. 8,5 µm.

Alternativ zu dem oben beschriebenen Herstellungsverfahren der Kernstäbe nach dem OVD-Verfahren werden dieselben nach dem bekannten MCVD-, VAD- oder PCVD-Verfahren hergestellt.

25 In jedem Fall wird weiteres Mantelmaterial für die Ausbildung der äußeren Mantelglasschicht in Form des eines Hohlzylinders bereitgestellt, das beim Faserziehen in einem ODD-Verfahren auf den Kernstab aufkollabiert wird. Die Herstellung des Hohlzylinders erfolgt analog zu der oben beschriebenen Herstellung des Kernstabs anhand eines üblichen OVD-Verfahrens, jedoch
30 ohne Zusatz eines Dotierstoffs. Nach dem Entfernen des Trägers wird ein Sootrohr erhalten, das der beschriebenen Dehydratationsbehandlung unterzogen und anschließend verglast wird.

Die Außenwandung des so erhaltenen Quarzglasrohres wird mittels Umfangseinstech- bzw. -längssschleifen in mehreren Arbeitsgängen unter Verwendung sukzessiv feinerer Korngrößen auf die gewünschte Außenabmessung abgeschliffen. Ebenso wird die Innenbohrung mittels eines

5 Bohrers aufgebohrt und zum Zwecke einer hochpräzisen Endbearbeitung hinsichtlich Form und Oberflächenbeschaffenheit durch Honen nachbearbeitet. Es wird so eine in Längsachsenrichtung verlaufende, gerade Bohrung mit einem genau kreisförmigen Querschnitt erhalten. Um Oberflächenspannungen abzubauen und um Beschädigungen durch die Oberflächenbearbeitung zu

10 entfernen wird das Quarzglasrohr in einem Flusssäure-Bad, dessen HF-Konzentration zwischen 5 % und 30 % liegt, kurz geätzt.

Das so erhaltene Quarzglasrohr hat einen Außendurchmesser von 120 mm, einen Innendurchmesser von 32,4 mm und eine Länge von 2500 mm. Die Maßabweichung ($t_{\max} - t_{\min}$) in der Wandstärke beträgt 0,5 mm.

15 Das Quarzglasrohr wird auf geeignete Teillängen abgelängt, die als Hohlzylinder im Sinne dieser Erfindung zur Herstellung von optischen Fasern anhand eines ODD-Verfahrens eingesetzt werden. Hierzu wird eine koaxiale Anordnung von Kernstab und Hohlzylinder in vertikaler Ausrichtung einer Erhitzungszone zugeführt und darin mit dem unteren Ende beginnend in einem

20 ringförmigen Ofen zonenweise auf eine Temperatur um 2050 °C erweicht und dabei eine optische Faser aus dem erweichten Bereich abgezogen. Zu Beginn des Ziehverfahrens liegt der Kernstab auf einer Verengung des Hohlzylinders auf. Die Herstellung einer geeigneten Verengung wird nachfolgend anhand den Figuren 1 bis 5 näher erläutert.

25 **Figur 1** zeigt das untere Ende eines Hohlzylinders 1, das nach dem Erweichen mittels einer Grafitfassung, der insgesamt die Bezugsziffer 2 zugeordnet ist, plastisch verformt wird. Hierzu werden der Hohlzylinder 1 und die Grafitfassung 2 in einem Ofen 9 auf eine Temperatur um 1700°C erwärmt. Anschließend wird die Grafitfassung 2 gegen das untere Ende des Hohlzylinders 1 gepresst. Die

30 Grafitfassung 2 ist mit einer umlaufenden V-Nut 3 versehen, deren maximaler Außendurchmesser nur um wenige Millimeter größer ist als der Außendurchmesser des Hohlzylinders 1, und deren Innendurchmesser durch

- einen Zapfen 4 gebildet wird, der in die Innenbohrung 5 des Hohlzylinders 1 hineinragt. Die Grafitfassung 2 wird gegen das untere Ende des um seine Längsachse 10 rotierenden Hohlzylinders 1 gepresst, wie dies der Rotationspfeil 8 und der Richtungspfeil „F“ (Kraftrichtung) andeuten. Beim Stauchvorgang wird das erweichte Quarzglas nach innen umgestülpt und legt sich an der Zylindermantelfläche des Zapfens 4 an. Es bildet sich dadurch ein nach innen gerichteter Kragen 6, der als Verengung der Innenbohrung 5 im Sinne dieser Erfindung dient. Infolge der schrägen Außenfläche der V-Nut 3 wird das untere Ende des Hohlzylinders 1 als Außenkonus 7 geformt.
- Figur 2** zeigt eine alternative Verfahrensweise zur Herstellung einer Verengung der Innenbohrung 15 am Ende eines Hohlzylinders 11. Hierzu werden ein Grafitgestänge 17, das eine in die Innenbohrung 15 ragende Spitze 18 aufweist und der Hohlzylinder 11 in einen Ofen 9 eingebracht, und darin auf Erweichungstemperatur um 1700°C erweicht. Durch Anpressen der Spitze 18 des Grafitgestänges 17 gegen die um die Hohlzylinder-Längsachse 10 rotierende untere Stirnseite des Hohlzylinders 11 wird Quarzglasmasse nach innen umgestülpt, das sich in Form eines nach innen ragenden Wulstes 16 um die Kegelfläche der Spitze 18 des Grafitgestänges 17 aufbaut.
- Eine weitere Verfahrensvariante zur Herstellung einer geeigneten Verengung der Innenbohrung 25 eines Quarzglas-Hohlzylinders 21 zeigt **Figur 3**. An das untere, stirnseitige Ende des Hohlzylinders 21 wird ein konisches Quarzglasrohr 22 angesetzt, das an der Kontaktstelle zum Hohlzylinder 21 in etwa die gleichen Außen- und Innendurchmesser aufweist wie der Hohlzylinder 21. Die Kontaktstelle wird mittels eines Brenners 24 erweicht und durch den Druck der Stirnflächen gegeneinander, wie durch die Richtungspfeile „F“ angedeutet, wird Quarzglas aufgestaucht, das einen an der Innenwandung und an der Außenwandung umlaufenden Wulst 23 bildet. Das konische Quarzglasrohr 22 wird dabei mit dem unteren Ende des Hohlzylinders 21 verschmolzen und bildet aufgrund seiner Außenform bei dem eigentlichen Ziehverfahren eine geeignete Anziehhilfe.

Bei der in **Figur 4** dargestellten Verfahrensweise zur Herstellung einer Verengung einer Innenbohrung 35 werden zunächst die jeweiligen Enden 32 zweier Hohlzylinder 31 konisch verjüngt und anschließend die konisch

verjüngten Enden 32 als Stoß unter Bildung eines doppelt so langen Rohrzylinders 33 zusammengefügt. Beim Zusammenfügen der beiden Hohlzylinder 31 wird in der Innenbohrung 35 des Rohrzylinders 33 ein Unterdruck von 100 mbar gegenüber dem Außendruck eingestellt, so dass sich

5 im Bereich der beiden konisch verjüngten Enden 32 aufgrund der dort geringeren Wandstärke ein umlaufender Innenwulst 34 ausbildet. Anschließend werden die beiden Hohlzylinder 31 im Bereich des Innenwulstes 34 getrennt, wie dies die Linie 36 andeutet, so dass jedem der so erhaltenen Hohlzylinder 31 ein Teil des Innenwulstes 34 verbleibt, und der eine Verengung der

10 Innenbohrung 35 im Sinne der Erfindung bildet.

Figur 5 zeigt eine weitere Verfahrensvariante zur Herstellung einer Verengung der Innenbohrung 45 eines Hohlzylinders 41, wobei ein Rohrstrang 43 in vertikaler Orientierung einem Ringofen 49 zugeführt wird und innerhalb des Ringofens 49 eine etwa 30 cm lange Teillänge des Rohrstrangs 43 auf eine

15 Temperatur oberhalb der Erweichungstemperatur von Quarzglas erhitzt wird. Infolge des Eigengewichtes des Rohrstrangs 43 kommt es zu einer Einschnürung 48 und damit zu einer Verengung der Innenbohrung 45. Der Bereich der Einschnürung 48 ist dabei so gewählt, dass die Länge des Rohrstranges 43 unterhalb der Einschnürung 48 mindestens der Länge

20 entspricht, wie sie für die Herstellung eines Hohlzylinders 41 erforderlich ist. Im Bereich der Einschnürung 48 wird anschließend der Rohrstrang 43 getrennt, wie dies durch die gestrichelte Linie 42 angedeutet ist, so dass ein Hohlzylinder 41 erhalten wird, der infolge der Einschnürung 48 eine Verengung der Innenbohrung 45 im Sinne der vorliegenden Erfindung aufweist.

25 Die Teillänge des Rohrstrangs 43 oberhalb der so erzeugten Einschnürung 48 ist ebenfalls als Hohlzylinder 41 im Sinne der vorliegenden Erfindung geeignet, sofern es eine ausreichende Länge aufweist. Auf diese Weise gelingt es somit in einem Verformungsvorgang zwei Hohlzylinder mit einer Verengung der Innenbohrung zu erzeugen.

30 **Figur 6** zeigt in schematischer Darstellung eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Hohlzylinders 51, der eine Innenbohrung 55 aufweist, die am unteren Ende eine Verengung aufweist, welche durch einen stufenförmigen, nach innen ragenden, konischen Kragen 52 gebildet wird. Der

Kragen 52 hat eine Länge von 20 mm - in Richtung der Hohlzylinder-Längsachse 10 gesehen; und die maximale Höhe des Kragens 42 ($= \frac{1}{2} \times (D1 - D2)$) beträgt etwa 4 mm, dies entspricht etwas mehr als dem 0,1-fachen des Durchmessers D1 der Innenbohrung 55, wobei ein Kernstab eingesetzt wird, dessen Außendurchmesser dem 0,9-fachen der Innenbohrung entspricht.

Der umlaufende, konische Kragen 42 wird im Verlaufe der mechanischen Bearbeitung des Hohlzylinders 51 erhalten, indem ein kegelförmiges Bearbeitungswerkzeug eingesetzt wird und indem die mechanische Bearbeitung vor dem Durchbruch am unteren Ende des Hohlzylinders 51 stoppt und so derjenige Bereich an Quarzglas stengelassen wird, der den Kragen 52 bildet.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines optischen Bauteils aus Quarzglas durch Elongieren einer koaxialen Anordnung eines Kernstabs und eines
5 Hohlzylinders einer vorgegebenen Länge, indem die Anordnung in vertikaler Orientierung einer Heizzone zugeführt, darin mit ihrem unteren Ende beginnend zonenweise erweicht und aus dem erweichten Bereich das Bauteil nach unten abgezogen wird, wobei der Hohlzylinder eine Innenbohrung aufweist, die im Bereich ihres unteren Endes mit einer
10 Verengung versehen wird, auf welcher der Kernstab aufliegt, dadurch gekennzeichnet, dass die Innenbohrung (5) mechanisch auf Endmaß bearbeitet wird, und dass die Verengung der Innenbohrung (5) erzeugt wird, indem das untere, stirnseitige Ende des Hohlzylinders erweicht, gegen ein Werkzeug (2, 17, 22) gestaucht, und dabei unter Bildung eines
15 umlaufenden Wulstringes (6, 16) nach Innen eingestülpt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkzeug (2, 17) ein in die Innenbohrung (15) hinein ragendes Formteil (4, 18) aufweist, wobei das eingestülpte Quarzglas an dem Formteil (4, 18) unter Bildung des umlaufenden Wulstringes (6, 16) zum Anliegen kommt.
- 20 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Hohlzylinder (1) und das Werkzeug (2, 17, 22) in einem Ofen (9) auf eine Temperatur aufgeheizt werden, bei welcher Quarzglas erweicht.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Werkzeug (17) eingesetzt wird, bei welchem das
25 Formteil (18) eine in die Innenbohrung (15) des Hohlzylinders (11) hinein ragende Kegelfläche (18) aufweist.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Werkzeug (2) eingesetzt wird, bei welchem das Formteil als ein in die Innenbohrung (5) des Hohlzylinders (1) hinein ragender Zapfen (4) ausgebildet ist, der einen Außendurchmesser aufweist, der dem Innendurchmesser (5) des sich bildenden Wulstringes (6) entspricht.
5
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkzeug (2) eine Ringnut (3) aufweist, deren Außendurchmesser dem Außendurchmesser des Hohlzylinder (1) und deren Innendurchmesser dem Innendurchmesser des Wulstringes (6) entspricht.
10
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkzeug (2, 17) aus Graphit oder aus carbonfaserverstärktem Kohlenstoff besteht.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkzeug (2, 17) und das erweichte stirnseitige Ende des Hohlzylinders (1, 11) um die Hohlzylinder-Längsachse (10) gegeneinander rotieren.
15
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass an dem erweichten stirnseitigen Ende des Hohlzylinders (1) mittels des Werkzeugs (2) ein Außenkonus (7) geformt wird.
20
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Werkzeug in Form eines Quarzglasrohres (22) eingesetzt wird, das mit dem stirnseitigen Ende des Hohlzylinder (21) in Form eines Stoßes verschmolzen wird.
25

11. Verfahren zur Herstellung eines optischen Bauteils aus Quarzglas durch Elongieren einer coaxialen Anordnung eines Kernstabs und eines Hohlzylinders einer vorgegebenen Länge, indem die Anordnung in vertikaler Orientierung einer Heizzone zugeführt, darin mit ihrem unteren Ende beginnend zonenweise erweicht und aus dem erweichten Bereich das Bauteil nach unten abgezogen wird, wobei der Hohlzylinder eine Innenbohrung aufweist, die im Bereich ihres unteren Endes mit einer Verengung versehen wird, auf welcher der Kernstab aufliegt, dadurch gekennzeichnet, dass die Innenbohrung (55) mechanisch auf Endmaß bearbeitet wird, und dass die Verengung der Innenbohrung (55) erzeugt wird, indem bei der mechanischen Bearbeitung im Bereich des unteren Endes ein um die Längsachse (10) der Innenbohrung (55) umlaufender und nach Innen ragender Kragen (52) erzeugt wird.
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der umlaufende Kragen (52) mit einer maximalen Höhe erzeugt wird, die zwischen dem 0,05-fachen bis 0,32-fachen des Innendurchmessers der Innenbohrung (55), vorzugsweise zwischen dem 0,1-fachen bis 0,2-fachen des Innendurchmessers der Innenbohrung (55), liegt.
13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass der umlaufende Kragen (52) mit einer Ausdehnung – in Richtung der Längsachse (10) gesehen – erzeugt wird, die im Bereich zwischen 15 und 40 mm, vorzugsweise unterhalb von 30 mm, liegt.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass ein Kragen (52) mit einem sich zum unteren Ende hin verjüngenden Innenkonus erzeugt wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass ein Hohlzylinder eingesetzt wird, dessen Innenbohrung (55) vor der mechanischen Endmaß-Bearbeitung im Bereich seines unteren Endes eine stufenförmige Verengung aufweist.

16. Verfahren zur Herstellung eines optischen Bauteils aus Quarzglas durch Elongieren einer coaxialen Anordnung eines Kernstabs und eines Hohlzylinders einer vorgegebenen Länge, indem die Anordnung in vertikaler Orientierung einer Heizzone zugeführt, darin mit ihrem unteren Ende beginnend zonenweise erweicht und aus dem erweichten Bereich das Bauteil nach unten abgezogen wird, wobei der Hohlzylinder eine Innenbohrung aufweist, die im Bereich ihres unteren Endes mit einer Verengung versehen wird, auf welcher der Kernstab aufliegt, dadurch gekennzeichnet, dass ein Rohzylinder (33, 43) bereitgestellt wird, der länger ist als der zu elongierende Hohlzylinder (31, 41), und dessen Bohrung (35, 45) mechanisch auf Endmaß bearbeitet wird, und dass die Rohzylinder-Bohrung (35, 45) in einer Kollabierzone (34, 48), die zum stirnseitigen Ende des Rohzylinders (33, 43) einen Abstand aufweist, der mindestens der Länge des Hohlzylinders (31, 41) entspricht, erhitzt und dabei teilweise kollabiert wird, und dass anschließend der Rohzylinder (33, 43) im Bereich der Kollabierzone (34, 48) getrennt wird.
17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Rohzylinder (33, 43) aus mindestens zwei stirnseitig miteinander verbundenen Ausgangszylindern (31, 41) besteht, im Bereich einer Ansetzzone in Form eines Stoßes zusammengefügt werden, und dass das Erhitzen und teilweise Kollabieren des Rohzylinders (33, 43) im Bereich der Ansetzzone erfolgt.
18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens einer der Ausgangszylinder (31) im Bereich der Ansetzzone eine verringerte Wandstärke (32) aufweist.
19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass der Bereich verringerter Wandstärke (32) als konische Verjüngung ausgebildet ist.
20. Verfahren nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Rohzylinder (43) in vertikaler Ausrichtung hängend in einem ringförmigen Heizelement (49) im Bereich seiner Kollabierzone (48) erweicht, und dabei unter Einfluss seines Eigengewichtes elongiert wird.

21. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Rohzylinder (33, 43) einen Zylinderaußenmantel aufweist, der vor dem Erhitzen und Kollabieren im Bereich der Kollabierzone (32, 48) mit einer radial umlaufenden Einkerbung versehen wird.
- 5 22. Verfahren nach einen der Ansprüche 16 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass in der Bohrung (35, 45) beim Kollabieren ein Unterdruck gegenüber dem außen an der Zylindermantelfläche anliegenden Druck erzeugt wird.
- 10 23. Hohlzylinder aus Quarzglas zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 11 bis 15, mit einer Innenbohrung, die im Bereich eines ihrer Enden mit einer Verengung versehen ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Innenbohrung (55) eine mechanisch auf Endmaß bearbeitete Oberfläche aufweist, und dass die Verengung als ein bei der mechanischen Bearbeitung erzeugter, in die Innenbohrung (55) hinein ragender Kragen (52) ausgebildet ist.
- 15 24. Hohlzylinder nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass der umlaufende Kragen (52) eine maximale Höhe aufweist, die zwischen dem 0,05-fachen bis 0,32-fachen des Innendurchmessers der Innenbohrung (55), vorzugsweise zwischen dem 0,1-fachen bis 0,2-fachen des Innendurchmessers der Innenbohrung (55), liegt.
- 20 25. Hohlzylinder nach Anspruch 23 oder 24, dadurch gekennzeichnet, dass der umlaufende Kragen (52) eine Ausdehnung – in Richtung der Längsachse (10) gesehen – aufweist, die im Bereich zwischen 15 und 40 mm, vorzugsweise unterhalb von 30 mm, liegt.
- 25 26. Hohlzylinder nach einem der Ansprüche 23 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass das mit der Verengung versehene Ende des Hohlzylinders als Außenkonus ausgebildet ist.
27. Hohlzylinder nach einem der Ansprüche 23 bis 26, dadurch gekennzeichnet, der Kragen (52) einen sich zum Ende der Innenbohrung (55) hin verjüngenden Innenkonus aufweist.

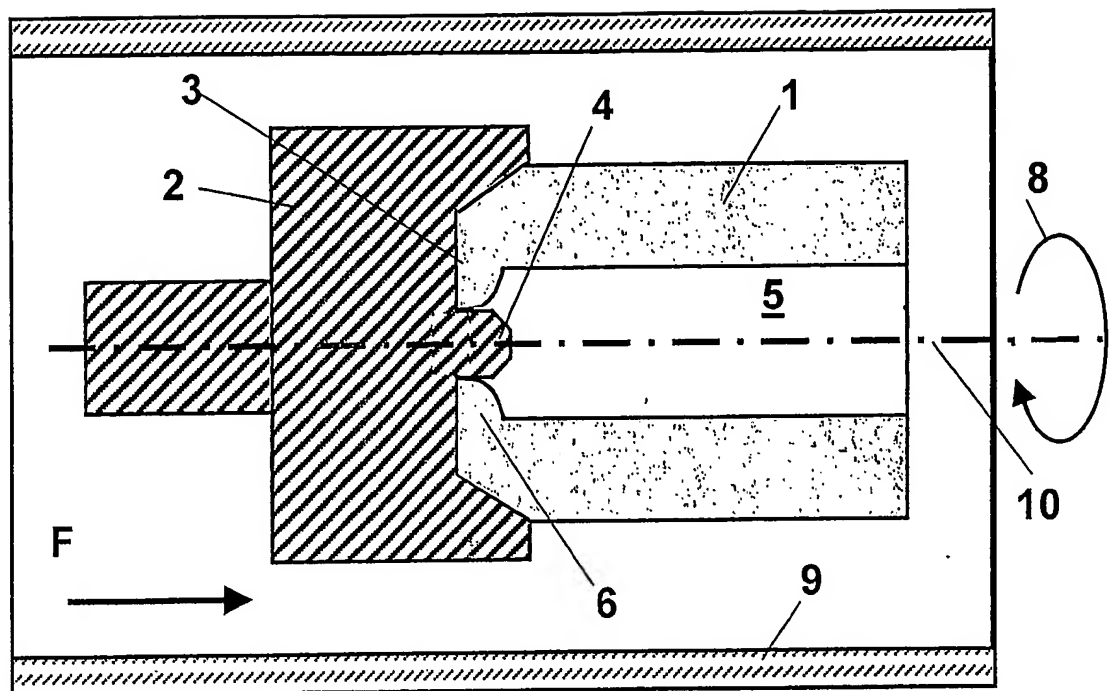


Fig. 1

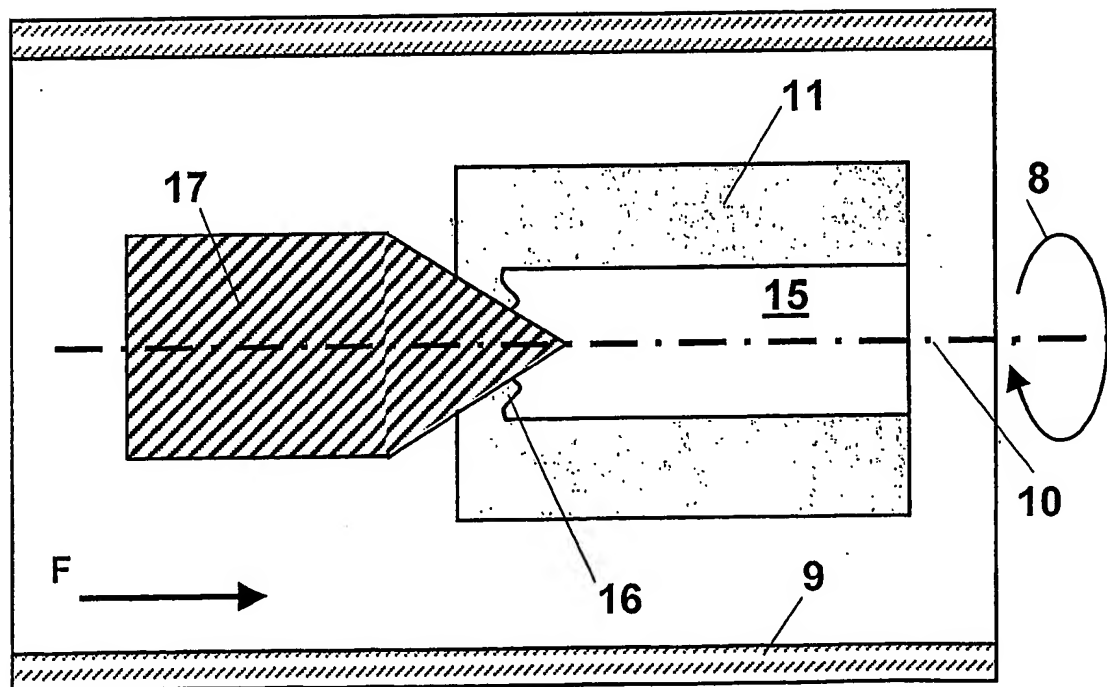


Fig. 2

2/3

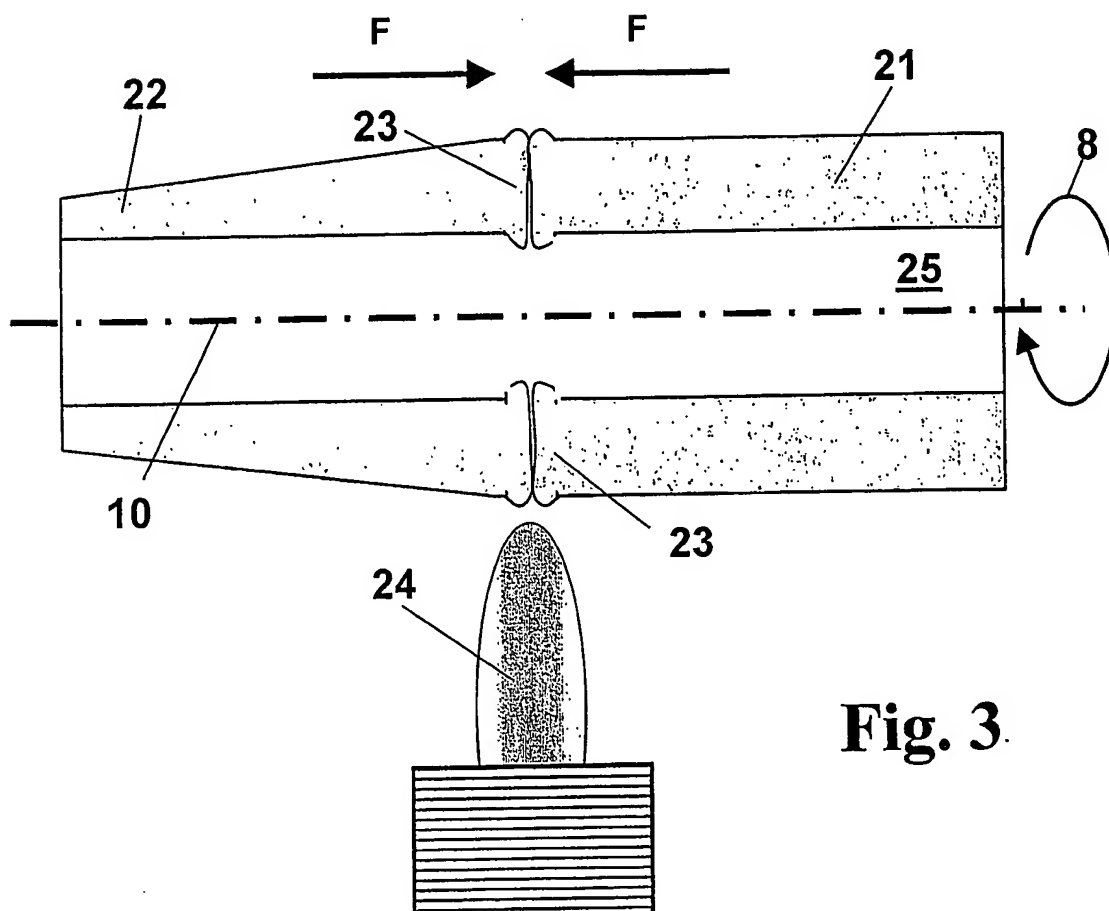


Fig. 3.

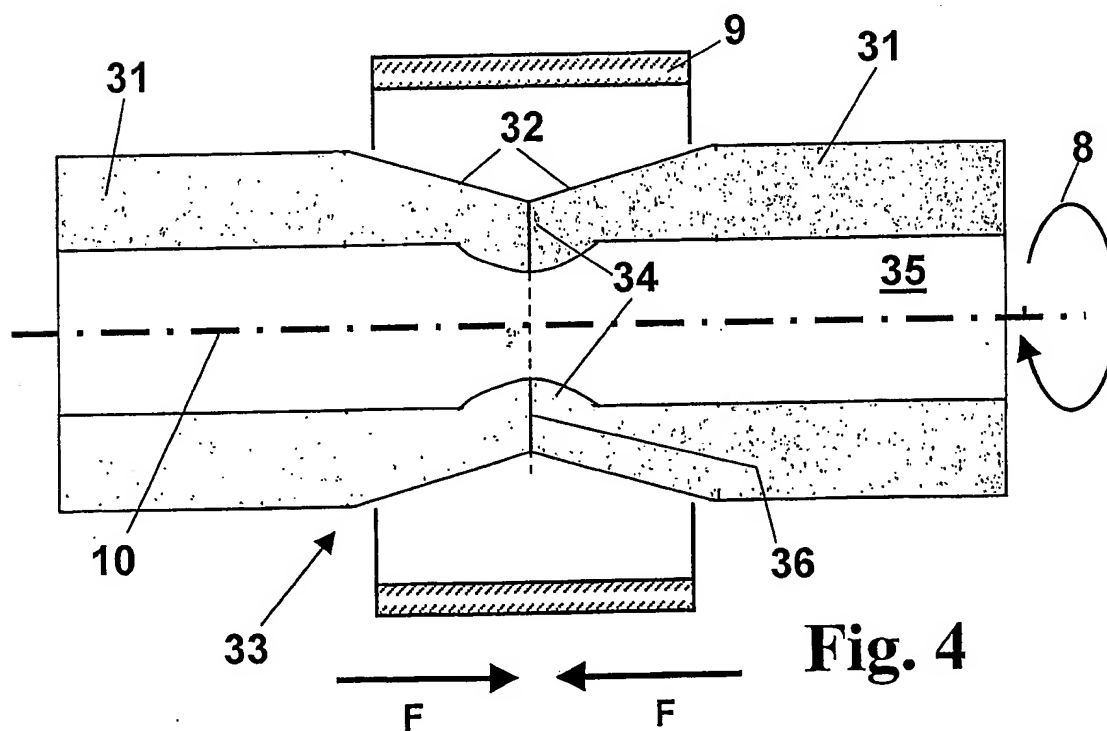
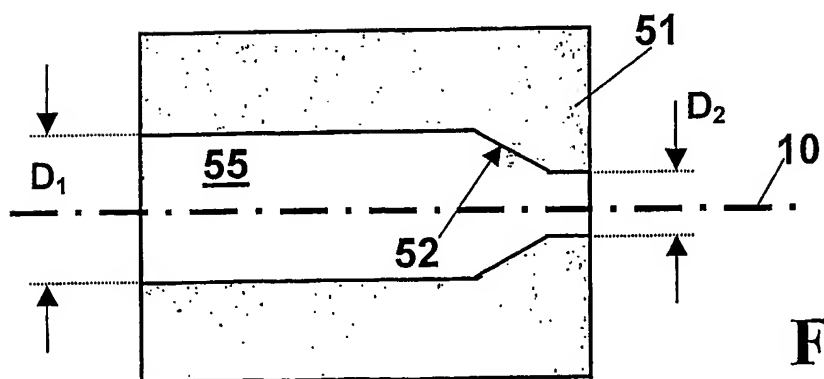
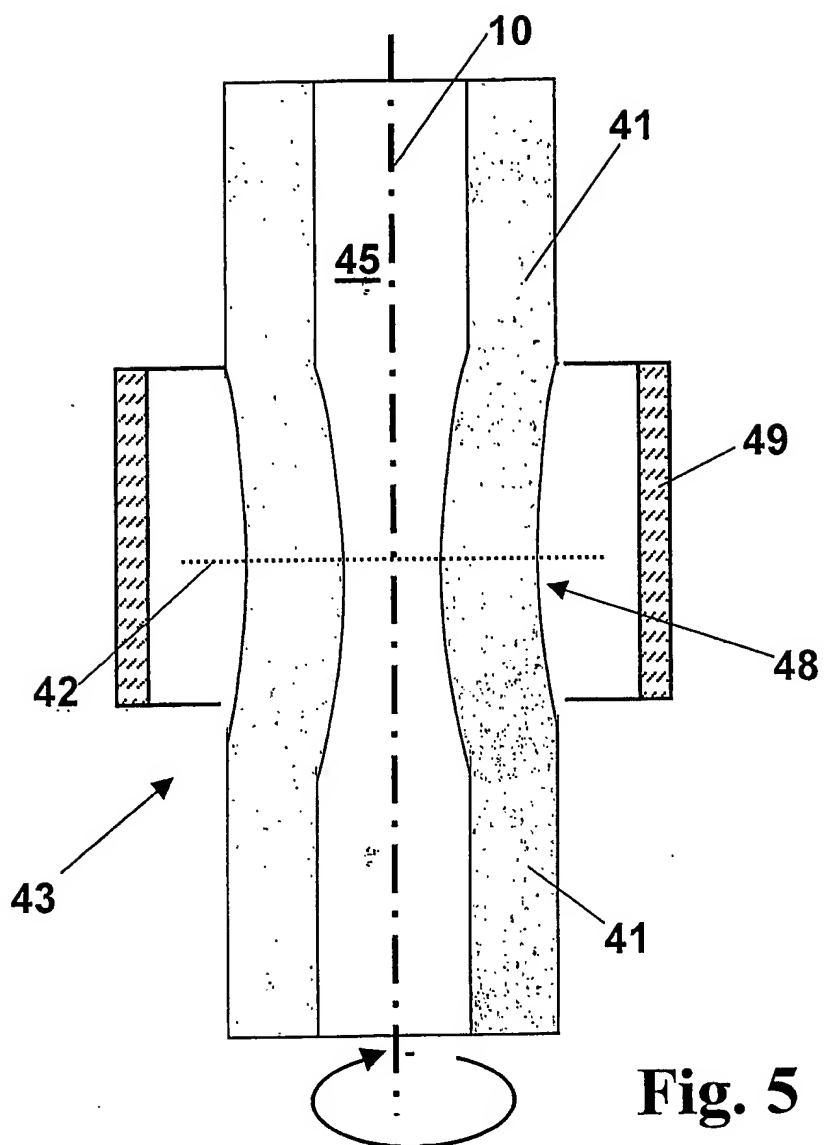


Fig. 4

3/3



A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 C03B37/012

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 C03B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4 812 154 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES LTD.) 14 March 1989 (1989-03-14) cited in the application column 3, line 42 - line 48; claim 5; figure 1	1-27
A	EP 1 129 999 A (LUCENT TECHNOLOGIES INC) 5 September 2001 (2001-09-05) cited in the application paragraphs '0023! - '0028!; figures 3a,3b	1-27
A	US 6 584 808 B1 (PIRELLI CAVI E SISTEMI S.P.A.) 1 July 2003 (2003-07-01) claims 1,4,8; figure 6	1-27

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *G* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 November 2004

Date of mailing of the international search report

29/11/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

González-Junquera, J

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4812154	A	14-03-1989	JP 1677292 C	13-07-1992
			JP 3041415 B	24-06-1991
			JP 63100033 A	02-05-1988
			AU 593688 B2	15-02-1990
			AU 7976087 A	21-04-1988
			GB 2195995 A , B	20-04-1988
			KR 9002526 B1	20-04-1990
EP 1129999	A	05-09-2001	US 6460378 B1	08-10-2002
			EP 1129999 A2	05-09-2001
			JP 2001287920 A	16-10-2001
US 6584808	B1	01-07-2003	AU 738295 B2	13-09-2001
			AU 9622298 A	08-03-1999
			BR 9811232 A	15-08-2000
			CA 2301116 A1	25-02-1999
			CN 1132032 B	24-12-2003
			WO 9909437 A1	25-02-1999
			EP 1005659 A1	07-06-2000
			JP 2002501871 T	22-01-2002
			NZ 502779 A	25-10-2002

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 C03B37/012

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 C03B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 4 812 154 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES LTD.) 14. März 1989 (1989-03-14) in der Anmeldung erwähnt Spalte 3, Zeile 42 - Zeile 48; Anspruch 5; Abbildung 1	1-27
A	EP 1 129 999 A (LUCENT TECHNOLOGIES INC) 5. September 2001 (2001-09-05) in der Anmeldung erwähnt Absätze '0023! - '0028!; Abbildungen 3a,3b	1-27
A	US 6 584 808 B1 (PIRELLI CAVI E SISTEMI S.P.A.) 1. Juli 2003 (2003-07-01) Ansprüche 1,4,8; Abbildung 6	1-27

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

G Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

18. November 2004

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

29/11/2004

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

González-Junquera, J

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 4812154	A	14-03-1989	JP 1677292 C	13-07-1992
			JP 3041415 B	24-06-1991
			JP 63100033 A	02-05-1988
			AU 593688 B2	15-02-1990
			AU 7976087 A	21-04-1988
			GB 2195995 A , B	20-04-1988
			KR 9002526 B1	20-04-1990
EP 1129999	A	05-09-2001	US 6460378 B1	08-10-2002
			EP 1129999 A2	05-09-2001
			JP 2001287920 A	16-10-2001
US 6584808	B1	01-07-2003	AU 738295 B2	13-09-2001
			AU 9622298 A	08-03-1999
			BR 9811232 A	15-08-2000
			CA 2301116 A1	25-02-1999
			CN 1132032 B	24-12-2003
			WO 9909437 A1	25-02-1999
			EP 1005659 A1	07-06-2000
			JP 2002501871 T	22-01-2002
			NZ 502779 A	25-10-2002

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☒ **OTHER: _____**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.